

Moldeo de cilindros de laminación (Parte I)

Por Enrique Tremps Guerra y José Luis Enríquez.
Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

En la presente monografía se estudia la fabricación de piezas cilíndricas resistentes al ataque químico y/o mecánico. Unas, los tubos y camisas, son huecas; otras, los cilindros de laminación, son macizas. En la publicación anterior se describió la fabricación de camisas para motores Diesel marinos, aquí se trata el moldeo de cilindros de laminación.

Mediante laminación se convierten en formas comerciales las palanquillas y planchones obtenidos en máquinas de colada continua o en trenes desbastadores blooming-slaking. Algunas formas (carriles, vigas...) son directamente utilizables. Otras, como chapa o alambre, sufren transformación posterior. A veces se realiza una operación adicional que mejora las características mecánicas o de corrosión. Las operaciones básicas de trabajo de los metales en estado sólido son:

- Conformación: Laminación, forja y otros.
- Acabado: Deformación en frío, recubrimientos, mecanizado, soldadura.
- Mejora de propiedades: Tratamientos térmicos o termomecánicos.

La diferencia fundamental entre laminación y forja radica en que en la primera la deformación se produce en una sola dirección del espacio, mientras que en la forja se modifica tridimensionalmente la forma del metal. Por laminación se obtienen perfiles largos o planos y por forja piezas sueltas.

2. FUNDAMENTO DE LA LAMINACIÓN

El objetivo de la laminación es producir una deformación permanente en el metal aprovechando su ductilidad. Para ello se le hace pasar entre dos cilindros que giran a la misma velocidad y en sentido contrario, y cuya separación es inferior al espesor del material a su entrada entre ellos. La presión que ejercen los cilindros sobre el material hace que se reduzca su espesor, aumentando proporcionalmente, en consecuencia, la longitud del producto que emerge de ellos. Se cumple la ecuación:

$$\text{Volumen de material} = \text{Sección} \times \text{Longitud} = \text{Constante}$$

En la FIGURA 1 se ve que durante el trabajo, el lingote se ve sometido a la acción de una fuerza R normal a la superficie de contacto según un radio del cilindro. Esta fuerza, resultante de todas las fuerzas elementales que actúan sobre la superficie de contacto, puede descomponerse en dos. Una es la componente horizontal o de estiramiento $S = R \sin \alpha$, la otra es la componente normal o de aplastamiento $N = R \cos \alpha$.

El avance del lingote es debido al rozamiento en la superficie de contacto. Para ello es necesario que se cumpla la desigualdad $f N \geq S$. En ella f es el coeficiente de rozamiento entre cilindro y lingote. Si se cumple esta condición, se tiene una fuerza horizontal $T = f N - S$ que hace avanzar el lingote, mientras la componente N lo aplasta. Por efecto del aplastamiento y estirado, el metal adquiere una estructura estratificada en el sentido de la lami-

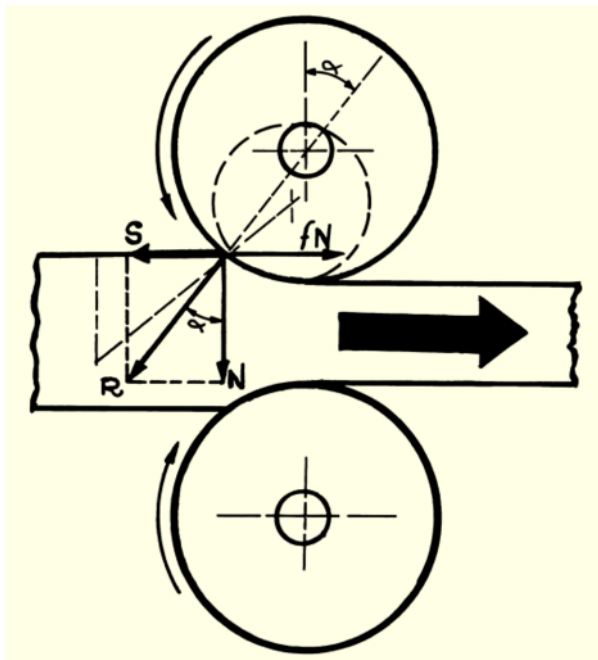


FIGURA 1. Forma de actuar un laminador.

nación ("fibra"). Este cambio de estructura aumenta extraordinariamente su tenacidad.

Si se disminuye el diámetro de los cilindros la componente S crece. La experiencia indica que los mejores resultados se obtienen con ángulo $\alpha = 24^\circ$. En la FIGURA 2 se representan en vista espacial las fuerzas que actúan.

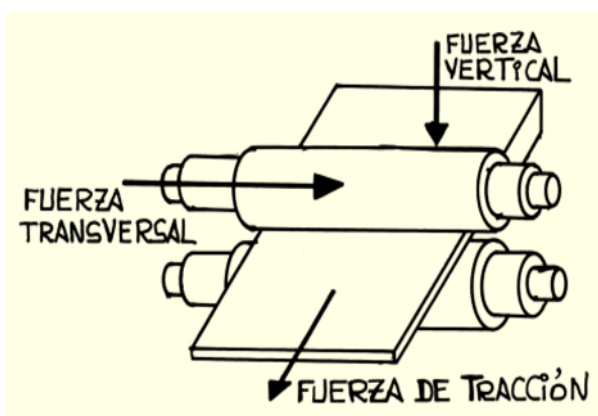


FIGURA 2. Fuerzas que actúan en la laminación.

El lingote, además de aplastarse y alargarse, se ensancha (FIGURA 3), pasando de las dimensiones iniciales (a_1, h_1) a las nuevas (a_2, h_2). Durante la laminación en caliente el lingote no se enfría porque

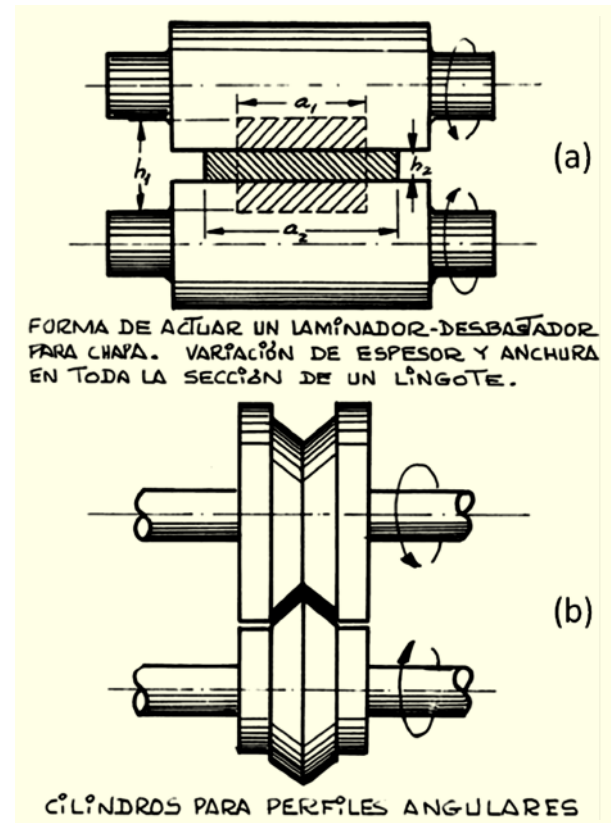


FIGURA 3. Cilindros de laminación.

parte del trabajo de deformación de la estructura cristalina se transforma en calor.

3. CAJAS DE LAMINACIÓN

El equipo elemental para laminar se conoce como "caja de laminación". Consta de estructura soporte, cilindros y elementos auxiliares (motores, cojinetes, ampuestas, transmisiones cardan, etc.).

Partes de un cilindro son:

- Tabla, comprendida entre los cojinetes. Suele ocupar la mayor parte del rodillo y realiza el trabajo de laminación. En los cilindros de planos es lisa y en los de "largos" (redondos, angulares, vigas...) tiene mecanizados unos canales que dan forma al perfil (FIGURAS 3 y 4). Para reducir la flexión de los cilindros por efecto de la componente vertical, la longitud de la tabla no suele ser más de 3,5 veces su diámetro.
- Cuello son las dos partes cilíndricas que giran alojadas en los cojinetes.
- Trefles o trébedes. Son los extremos en los que se realiza el acoplamiento con la "chocolatera"

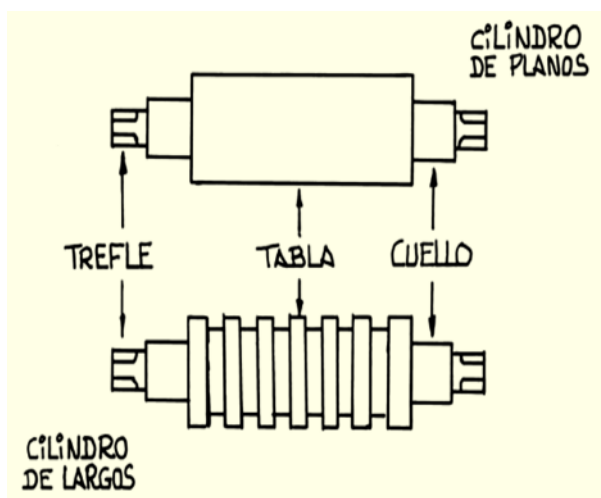


FIGURA 4. Partes de un cilindro.

(extremo del árbol cardánico) que transmite el movimiento del motor al rodillo.

El cilindro tiene superficie dura, más que el acero laminar, para reducir el desgaste por fricción, pero debe ser tenaz porque soporta fuertes solicitaciones transversales durante el trabajo.

En la laminación para chapa se efectúan grandes reducciones de espesor y es preciso vencer presiones y esfuerzos transversales. Para ello las cajas son compuestas, con rodillos "de trabajo" y "de apoyo". Los de trabajo suelen ser de pequeño diámetro y buen acabado superficial; pues entre ellos pasa el material que se lamina. Los de apoyo tienen mayor diámetro y soportan el esfuerzo de flexión transmitido por los de trabajo. En la FIGURA 5 se tiene el esquema de una caja "cuarto" (cuatro cilindros) de un tren continuo o semicontinuo para chapa, con los dos tipos de cilindros citados.

Esto se ve en la FIGURA 6. Caja cuarto desbasta-

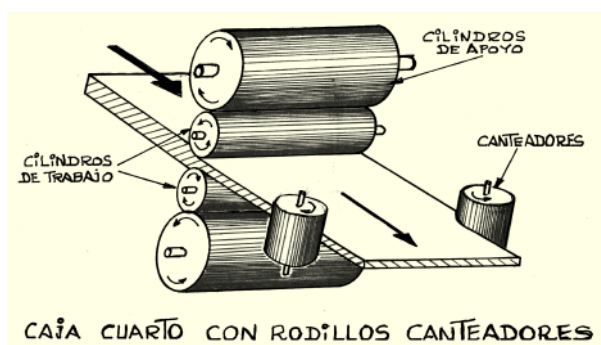


FIGURA 5.

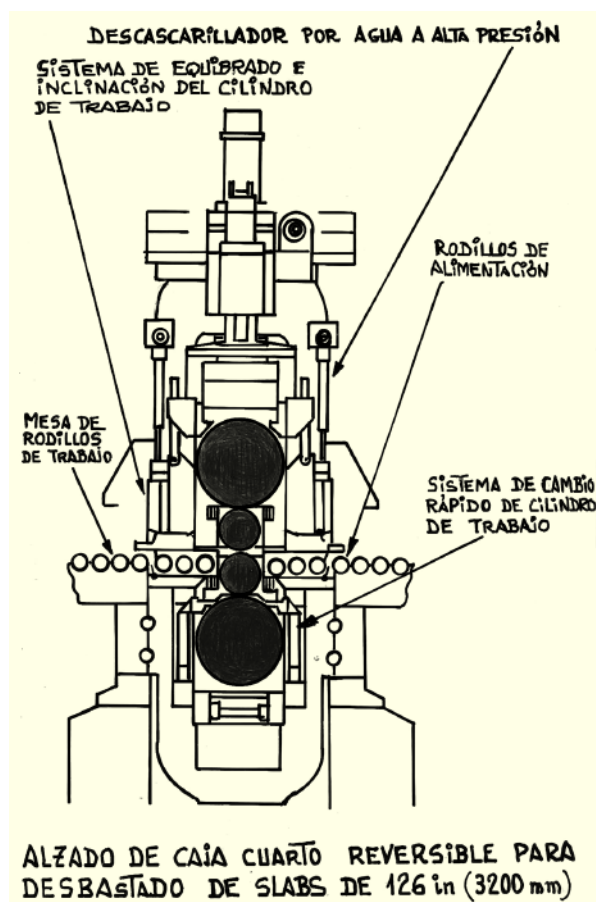


FIGURA 6.

dora reversible, que encabeza el conjunto de cajas acabadoras de un tren semicontinuo para planos.

En el caso de aceros que sufren un gran endurecimiento por deformación en frío, no es suficiente una pareja de cilindros de apoyo y las cajas son multicilíndricas, con cilindros intermedios entre los de trabajo y apoyo (FIGURA 7).

Un ejemplo típico de estas cajas son los trenes Sendzimir (FIGURA 8) y Sundwig-Sendzimir (FIGURA 9) para laminación en frío de acero inoxidable.

Los cilindros se fabrican con materiales como:

- Fundición con grafito laminar, a veces alta en fósforo, colada en arena, coquilla o contra enfriador.
- Fundición con grafito esferoidal, colada como la anterior; a veces tratada después de colada.
- Las mismas fundiciones, pero centrifugadas.
- Acero colado atmosféricamente o centrifugado.

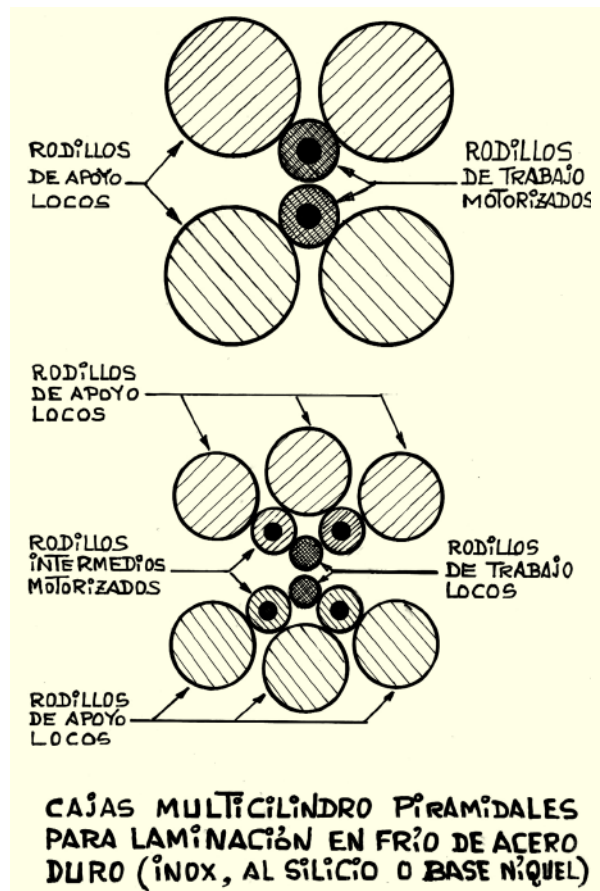


FIGURA 7.

- Acero colado en lingotera y forjado posteriormente.
- Acero refundido bajo electroescoria y forjado.
- Carburo de wolframio en polvo, comprimido y sinterizado.
- Rodillos compuestos, con un núcleo tenaz y una camisa dura.

4. MOLDEO DE RODILLOS EN ARENA O COMBINADOS

Inicialmente, el molde era íntegramente de arena y la colada se hacía verticalmente en una sola operación, con entrada tangencial de caldo por el fondo para tener colada tranquila y mayor limpieza final del material. Hace casi un siglo se desarrolló el método de colada doble, llenando con metal duro y completando con metal tenaz. El proceso puede hacerse en un molde combinado, con partes de arena y partes metálicas, o íntegramente de arena pero con enfriadores incrustados. Se describen a continuación.

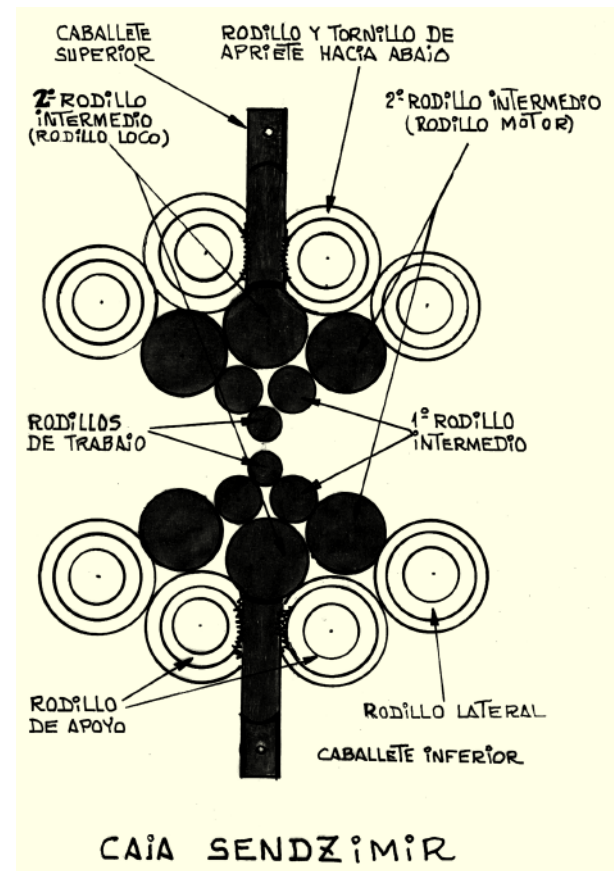


FIGURA 8.

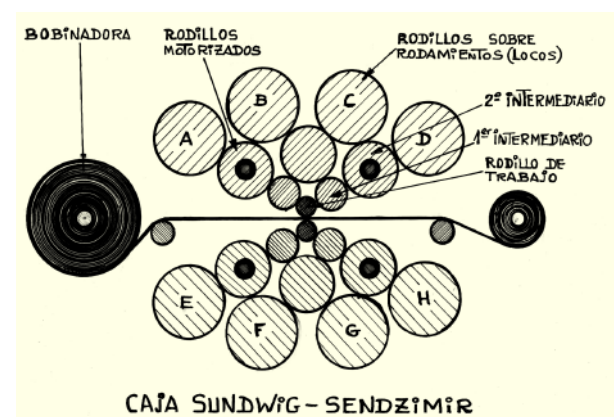


FIGURA 9.

4.1. MOLDE COMBINADO ARENA - METAL

El primero de los ejemplos (FIGURAS 10, 11 y 12) representa el sistema clásico de fabricación. El molde tiene sus zonas superior e inferior elaboradas con arena aglomerada con resinas sintéticas (hace años era arena aglutinada con bentonita y estufa posterior o aglomerada con silicato sódico o ce-

mento). Los extremos constituyen los trefles que dan soporte y giro al cilindro en su operación. La parte central, que es la zona de trabajo propiamente dicha, se cuela contra molde metálico enfriador.

En la parte superior del molde según la posición de colada está la mazarota, que alimenta la solidificación del metal líquido y evita rechupe o grietas de contracción. Este efecto alimentador se refuerza colocando un manguito aislante o exotérmico alrededor de la mazarota y con la adición de polvo exotérmico de cobertura al final de la colada, con el molde completamente lleno. Es buena práctica "recolar", adicionando caldo sobre la mazarota hasta solidificación total, momento que se conoce porque deja de "tragar" el molde.

En el caso de rodillos de fundición, en la primera fase de llenado con el molde cerrado y puesto en posición vertical, se cuela (FIGURA 10) una fundición blanca, muy dura, que al solidificar rápidamente forma la corteza del cilindro en su zona de trabajo. El molde se llena hasta el borde superior

de la tabla. La fundición en contacto con la coquilla sufre un enfriamiento rápido y solidifica (parte negra de la figura), mientras que el extremo inferior del rodillo y el corazón de la tabla permanecen líquidos.

La coquilla extrae rápidamente el calor de la capa de fundición solidificada, la cual se templea y adquiere gran dureza y resistencia al desgaste. Sin embargo, un cilindro fabricado en su totalidad con este material adolecería de una gran fragilidad, que le invalidaría para un trabajo que involucra grandes esfuerzos transversales o de tenacidad.

Por ello, en la segunda fase, descrita en la FIGURA 11, se cuela una fundición, gris o nodular, menos dura pero mucho más tenaz, que desaloja la fundición blanca colada anteriormente, la cual sale por el rebosadero situado inmediatamente encima del nivel de la extremidad superior. El metal cae a un depósito anexo y se reutiliza como carga fría en coladas posteriores. La fundición blanca solidificada en contacto con la coquilla permanece sólida, pero

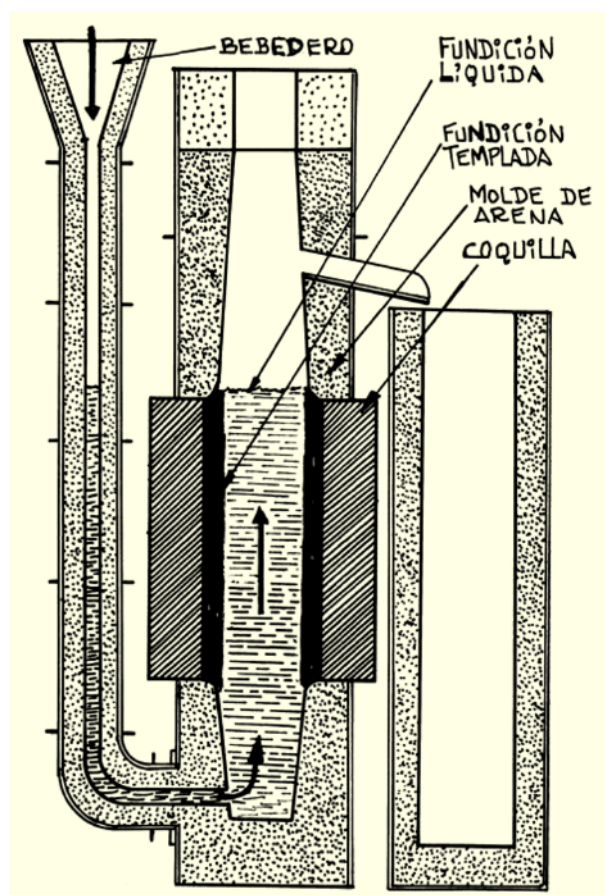


FIGURA 10. Colada de cilindros de laminación. Sistema clásico. Primera fase.

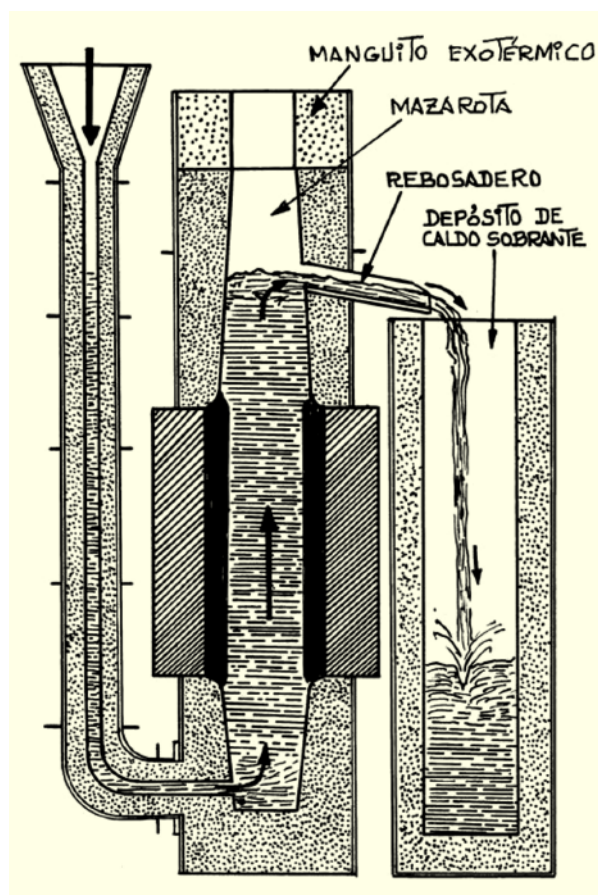


FIGURA 11. Colada de cilindros de laminación. Sistema clásico. Segunda fase.

su temperatura es aún suficiente para soldarse con la entrante, sin que se produzca solución de continuidad.

Cuando la cantidad calculada de fundición blanca ha salido por el rebosadero se obtura éste y el bebedero. Se completa la colada del molde mediante llenado final con fundición gris o nodular por la mazarota (FIGURA 12). La colada ha finalizado cuando el manguito exotérmico está lleno de caldo y se ha cubierto con polvo exotérmico de cobertura, recolando entonces hasta solidificación total. Esta forma de vertido en la tercera fase determina un gradiente térmico favorable de enfriamiento y solidificación, que facilita la obtención de una pieza sana y libre de rechupes.

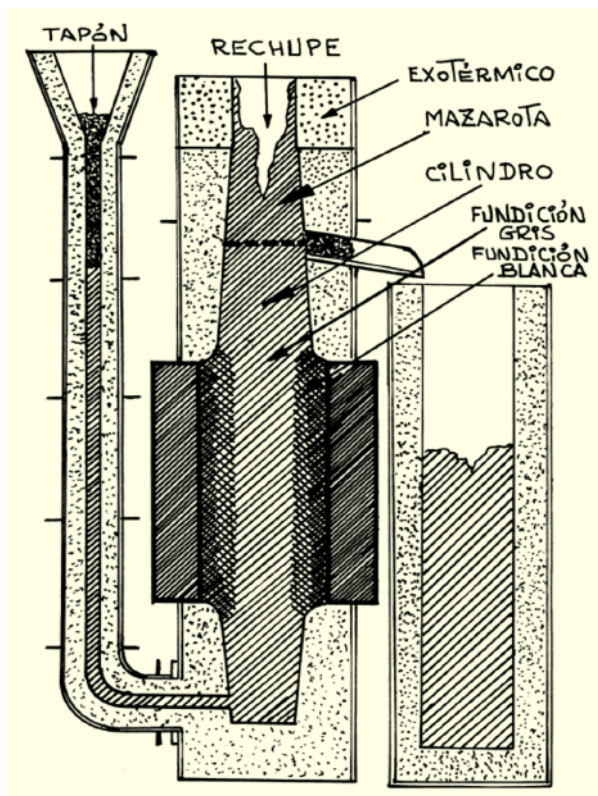


FIGURA 12. Colada de cilindros de laminación. Sistema clásico. Tercera fase.

En la FIGURA 13 se representa un sistema, parecido al anterior, para fundir un cilindro acabador en fundición dura con la tabla colada contra molde metálico enfriador. En este caso no hay rebosadero de la fundición blanca endurecida. Las líneas de trazos de la figura representan la forma y dimensiones de la pieza después del mecanizado final. La composición es:

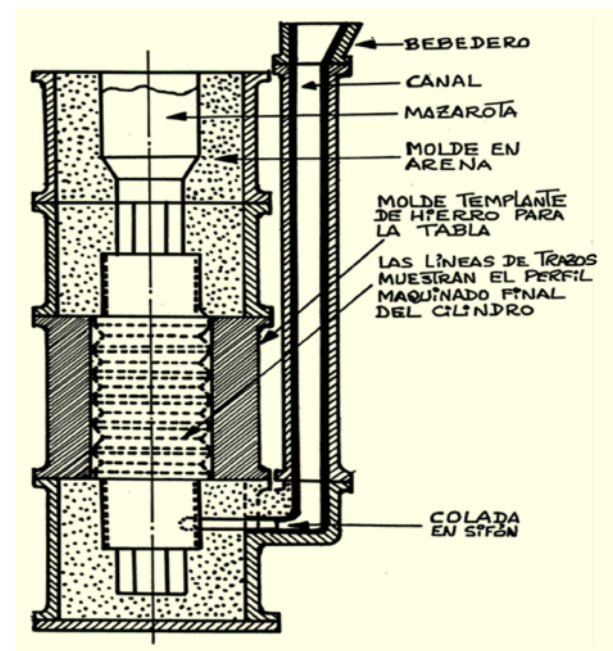


FIGURA 13. Cilindro acabador de fundición dura templada.

Carbono	Silicio	Manganeso	Azufre	Fósforo
3,00%	0,65%	0,25%	0,08%	0,40%

La combinación de alto fósforo y bajo silicio, junto con el enfriamiento producido por la parte metálica del molde, genera dureza y resistencia al desgaste.

En la FIGURAS 14 y 15 está el sistema para cilindro acabador de fundición muy dura templada. Cuando se desea obtener cilindros de hierro fundido de alta aleación (1,5 – 2,5 % Cr y 4 – 5 % Ni, con adición de algo de Mo) es imposible maquinar el producto bruto y, además, el cilindro resultante sería muy frágil. Como en casos anteriores se recurre a fabricarlo con dos metales de características distintas.

En el molde de las figuras citadas se cuela la fundición aleada, se deja que la solidificación progrese en las capas superficiales de la pieza en contacto con la parte metálica del molde. Se vierte después una fundición tenaz que desaloja del corazón de la pieza a la fundición aleada; ésta sale por la canaletta de rebose que se ve en el lateral de las figuras. A continuación se taponan la canaletta y se cuela más fundición tenaz, esta vez por la mazarota, hasta que la totalidad del molde, incluida la mazarota, se ha llenado.

Estos sistemas de doble colada son eficientes para obtener, en una sola operación, una pieza que

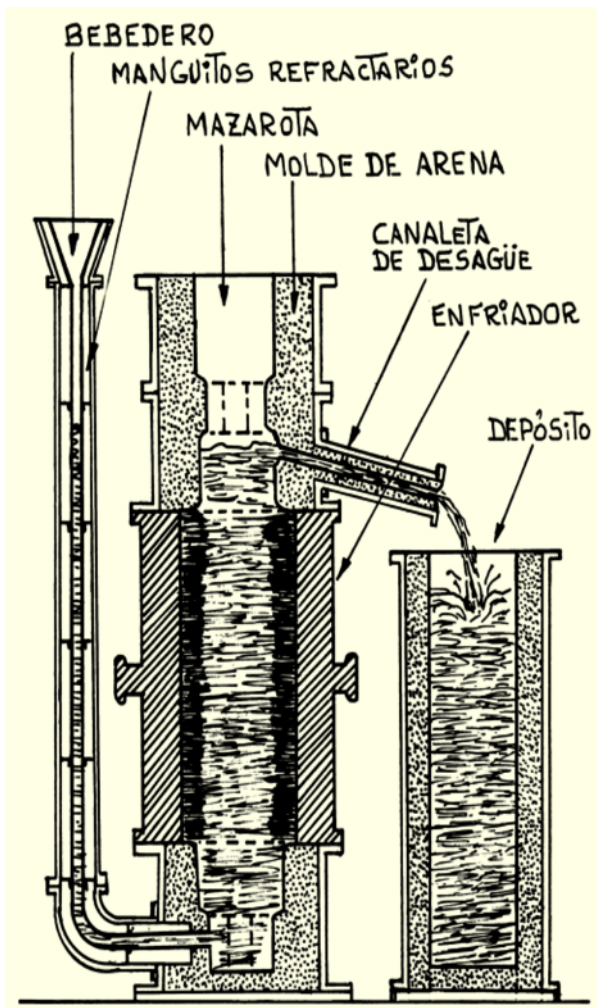


FIGURA 14. Cilindro acabador de fundición muy dura templada.

combine tenacidad y dureza elevada. Como desventaja principal está el hecho de desperdiciar gran cantidad de fundición líquida con sus consiguientes costos de fusión y manipuleo.

Para resolver éste y otros problemas surgió una mejora posterior de estos métodos de doble colada, desarrollada por la empresa alemana Rheinstahl en los años 70 del pasado siglo XX. Se utiliza una "buza" corredera similar a las utilizadas en el taponado de hornos de arco y cucharas de colada de acería. Accionada mediante cilindro hidráulico o neumático, está emplazada en la parte inferior del molde. En la FIGURA 16 se ve el detalle de la buza, colocada y con las dos galletas dispuestas en la posición de cierre. El sistema funciona tal y como se describe a continuación:

Con la buza en su posición de cierre se cuela fundición dura de alta aleación (FIGURA 17) hasta enra-

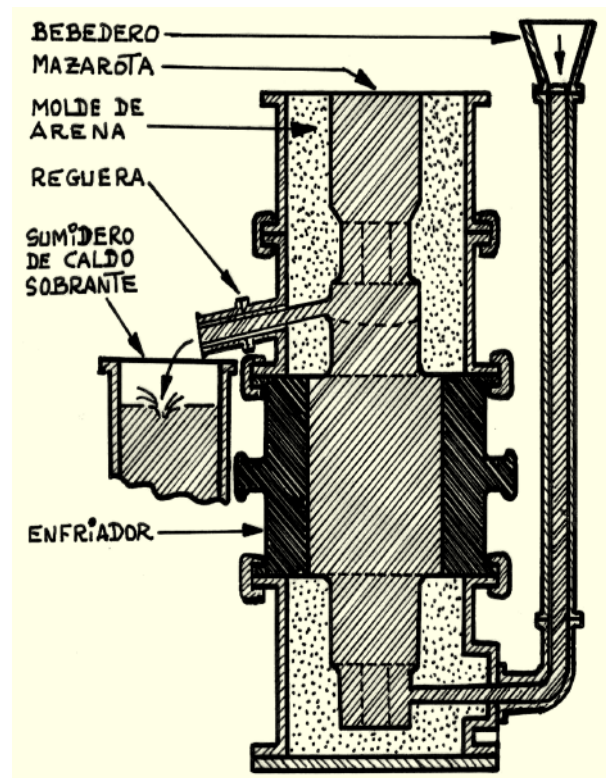


FIGURA 15.

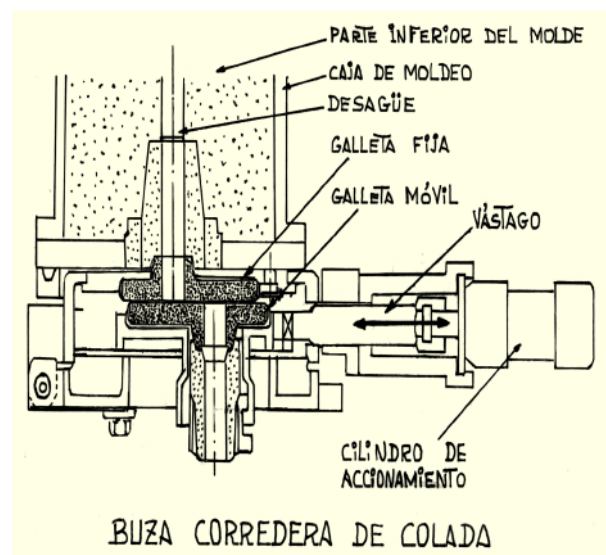


FIGURA 16.

sar su nivel con la parte superior de la tabla donde conecta con el cuello.

Cuando ha solidificado un espesor suficiente del primer material colado en la parte metálica, se abre la buza y se drena el metal fundido remanente.

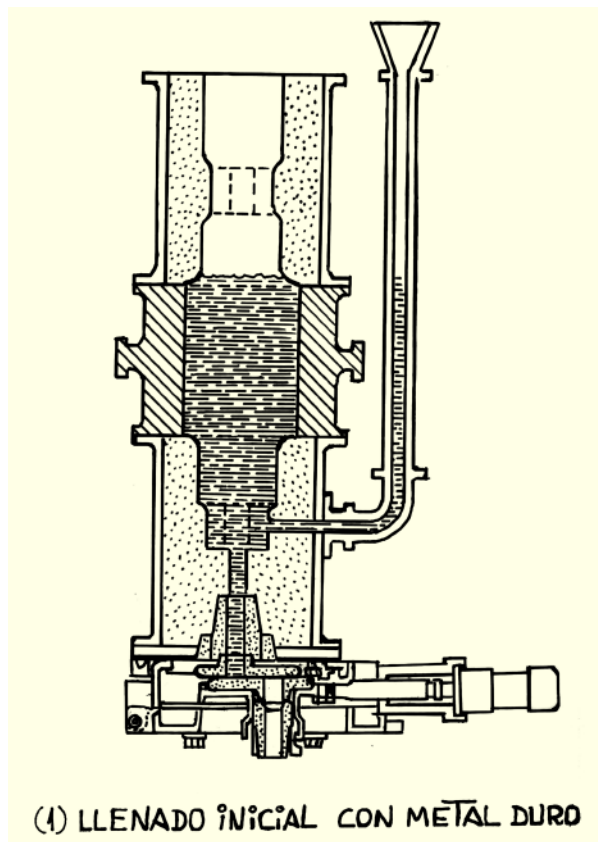


FIGURA 17.

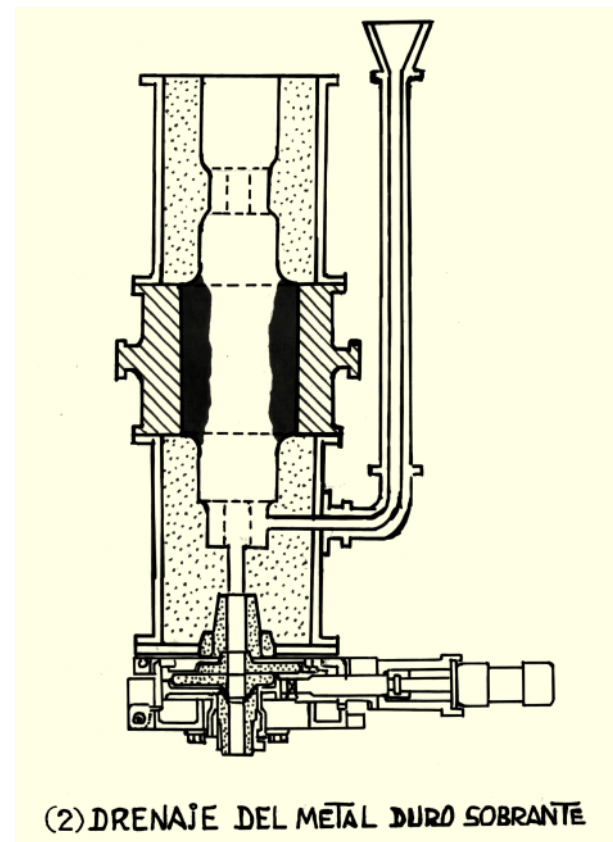


FIGURA 18.

te del primer llenado (FIGURA 18). Cae a un depósito, cuchara o a lingoteras para ser utilizado como carga fría en coladas posteriores. El molde queda de nuevo vacío, con la excepción de la fundición que ha solidificado y templado por contacto con la parte metálica. El líquido sobrante puede derivarse al horno de inducción, aprovechándose así su calor de fusión y ahorrando refractario y operaciones.

Después se cierra la buza (FIGURA 19) y se llena el molde con una fundición relativamente blanda y muy tenaz, casi siempre nodular. Una satisfactoria unión entre la zona templada y el cuerpo central se consigue mediante el uso de flujos y cuidadoso control de la temperatura del metal en este segundo llenado.

Cuando el nivel del metal enrasa con la unión entre cuello y tabla se bloquea el bebedero con arena de moldeo y se completa el llenado colando por la mazarota para optimizar el gradiente térmico de alimentación. Como se ha mencionado anteriormente, se dispone también de manguitos exotérmicos o aislantes y polvos exotérmicos de cobertura y se efectúa recolado hasta la solidificación total.

Este método evita el lavado del metal templado de

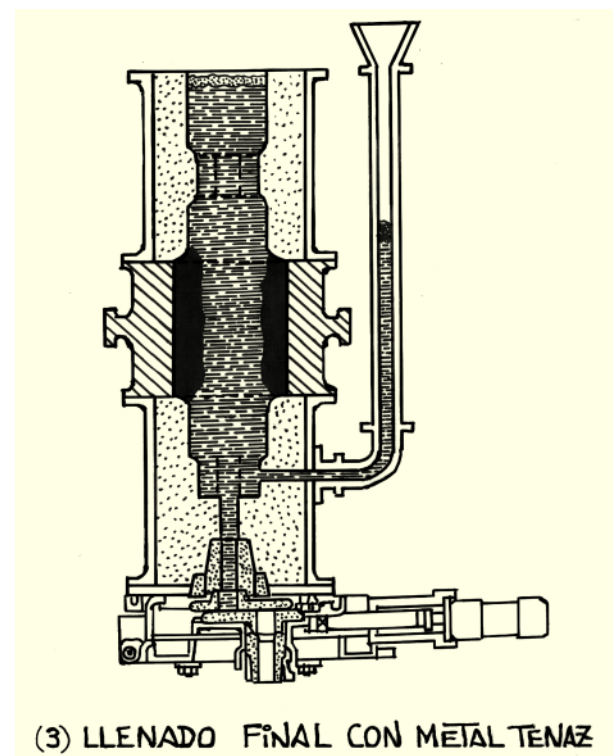


FIGURA 19.

la tabla por el segundo hierro y permite un más amplio rango de composiciones de aleaciones en la fabricación de los cilindros.

4.2. MOLDE DE ARENA CON ENFRIADORES

En la FIGURA 20 se representa la colada de un cilindro desbastador de un tren blooming para largos. Está fabricado en acero duro aleado, cuya composición es:

Carbono		Silicio	Manganeso
0,80 – 0,90%		0,25 – 0,30%	0,70 – 0,80%
Azufre		Fósforo	Cromo
< 0,04%		< 0,04%	1,00%
		Molibdeno	0,25 – 0,30%

El molde es totalmente de arena, con una serie de enfriadores anulares que templan el acero en solidificación y eliminan la necesidad de realizar tratamiento térmico endurecedor. Se cuela en sifón, y una vez el acero líquido asoma a la parte superior de la tabla templada se para la colada, taponando el bebedero y completando el llenado por la mazarota.

Hay dos ventajas. La primera es que el acero líquido no arrastra la zona templada de la tabla y se mantiene la profundidad y severidad de temple. La

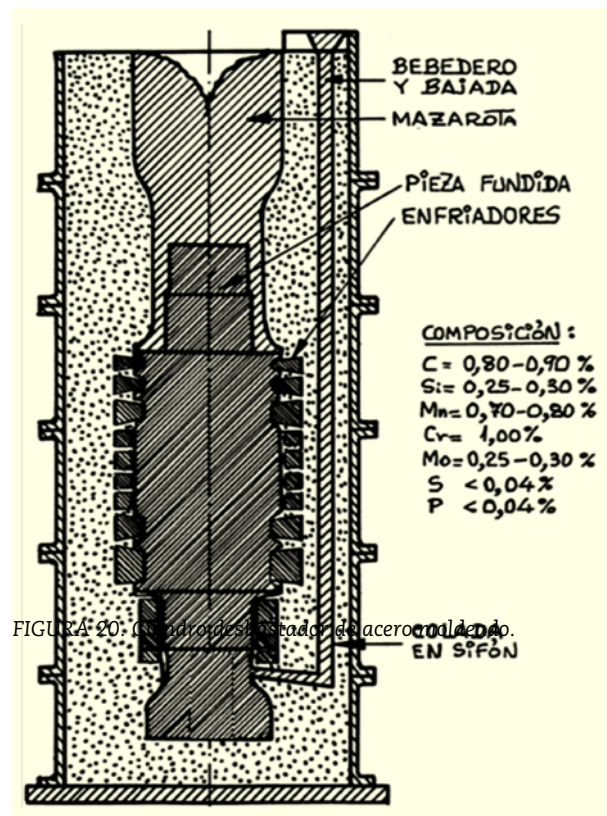


FIGURA 20. Cilindro desbastador de acero moldeado.

FIGURA 20. Cilindro desbastador de acero moldeado.

segunda es que al taponar el bebedero y colar finalmente por la mazarota, mejora el gradiente térmico ("solidificación dirigida") y se garantiza alimentación y sanidad de la pieza colada. En el caso de cilindros de diámetro pequeño puede sustituirse el empleo de enfriadores incrustados por pintura templante de teluro. En la FIGURA 21 se representa el cilindro después de mecanizado.

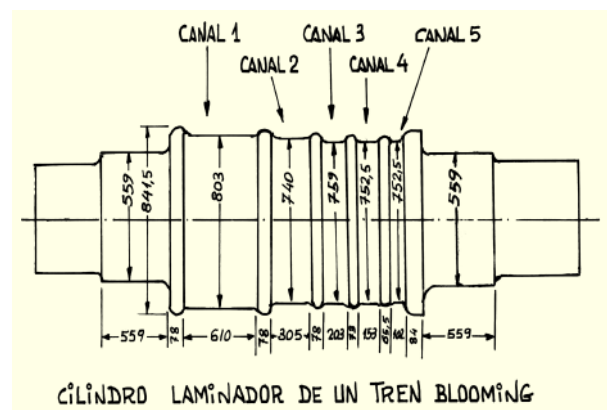


FIGURA 21. Cilindro desbastador mecanizado.

FUNDI *Press*
 FOSCO AL SERVICIO DE LA FUNDICIÓN

MOLD *Press*
 ¿Puede medir los sueños?

Nueva WEB
www.pedeca.es

SURFAS *Press*
 En esta tecnología los mejores resultados son los obtenidos con el uso de surfactantes.

TRATER *Press*
 Pujol

Síguenos en

f t

(Continuará)

Moldeo de cilindros de laminación (y Parte II)

Por Enrique Tremps Guerra y José Luis Enríquez
Universidad Politécnica de Madrid

5. OTRAS FORMAS DE FABRICACIÓN

Con el sistema de doble colada, sin embargo, hay un límite en la profundidad de temple alcanzable. Hay mejoras que se esbozan a continuación:

Colada centrífuga:

Procedimiento que se tratará en informe posterior, con el eje de giro en posición vertical u horizontal. La cantidad deseada de fundición blanca dura se cuela en una coquilla que gira alrededor de un eje vertical u horizontal. Una vez solidificada la corteza templada, y sin detener el giro de la máquina, se cuela la fundición gris del corazón, la cual llena el volumen hueco que ha quedado en el interior del molde.

Mediante el uso de aleaciones mejoradas se puede disminuir la pérdida de dureza de la zona templada, a la vez que se consiguen propiedades mecánicas superiores en el corazón. La centrifugación también concentra las inclusiones, más ligeras, en el centro del cilindro, con lo que resultan menos deletéreas para la resistencia de éste.

Forja:

Los cilindros de acero forjado en caliente se fabrican usualmente a partir de lingotes de sección circular o poligonal. Durante la deformación de los lingotes sus secciones rectas se dividen por 3 ó 4, siendo esta reducción necesaria para obtener el tamaño de grano deseado, homogeneidad de estruc-

tura y ausencia de defectos. Después de la forja, los cilindros se tratan térmicamente.

Cilindros de carburos:

Cilindros de carburo de wolframio, de diámetro relativamente pequeño, se fabrican por pulvimetalurgia (compresión y sinterización del carburo pulverizado). Usualmente se disponen en forma de anillos que se ensartan en un árbol de acero tenaz. El mecanizado a la muela (rectificado) de tales cilindros, debe llevarse a cabo muy cuidadosamente para evitar la formación de microgrietas. Adicionalmente, la refrigeración de ellos en servicio debe evitar el sobrecalentamiento de los anillos.

Cilindros compuestos:

Los cilindros compuestos constan de un árbol central tenaz y una pieza en forma de casquillo previamente calentado. El árbol tenaz se introduce en él, de forma que la contracción del casquillo al enfriarse lo inmovilice. En otros casos es el árbol el que se enfría previamente con nieve carbónica, para que se contraiga antes de introducirlo en la camisa. Es un sistema parecido al utilizado en fabricación de rodillos para molinos. Tienen la ventaja de que si el casquillo o camisa se ha gastado, el árbol puede reutilizarse adaptándole una nueva camisa exterior. En laminación de planos, sin embargo, los cilindros encamisados no tienen aceptación debido a la tendencia de los casquillos a resbalar

bajo las elevadas fuerzas de laminación, que tanto distorsionan la forma del cilindro.

6. COMPOSICIONES ESPECIALES

Los cilindros de hierro fundido se clasifican según los elementos de aleación, método de fabricación y realización del temple. La profundidad de temple depende básicamente de la composición química y el modo de fabricación. Elementos de aleación como azufre, cromo, vanadio y molibdeno aumentan la profundidad mientras que otros como manganeso, silicio y, en menor extensión, níquel y carbono, la disminuyen. En la zona enfriada, el hierro se combina con el carbono para formar cementita muy dura. A mayor distancia de los enfriadores o en ausencia de éstos, la pieza se enfría más lentamente y el carbono en solución precipita como grafito laminar o esferoidal.

La microestructura final depende de la composición química y la velocidad de enfriamiento. La parte exterior de la zona templada puede contener martensita, pero generalmente la estructura consta de perlita o bainita con cementita.

En lo que sigue se revisarán algunas fundiciones especiales adecuadas para cilindros de laminación. Se trata de fundiciones al grafito esferoidal, de tenacidad alta, con matriz acicular obtenida en bruto de colada o mediante tratamiento térmico posterior.

6.1. PIEZAS OBTENIDAS EN BRUTO DE COLADA

Las fundiciones con matriz acicular en bruto de colada (FIGURA 22) han encontrado gran aplicación

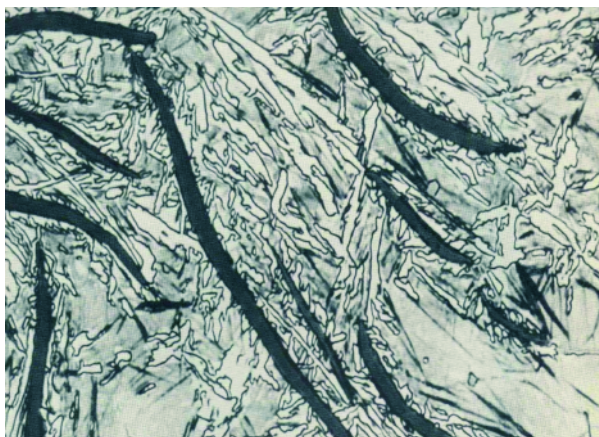


FIGURA 22. Microestructura de fundición laminar con matriz acicular.

en piezas que han de ser resistentes al desgaste por rozamiento, sin perder por ello una parte sustancial de su tenacidad. Su vida en servicio está basada en la combinación acertada de resistencia a la tracción, tenacidad y resistencia al desgaste. Los cilindros de fundición nodular con estructura acicular tienen una resistencia al desgaste mayor que los de acero y mejor resistencia a la rotura que los de fundición laminar templada. Por ejemplo, en una caja "dúo" reversible (dos cilindros que pueden girar en ambos sentidos) para laminación de redondos, la sustitución de cilindros de acero moldeado por cilindros de fundición con grafito esferoidal y matriz acicular aumentó un 400 - 500% el tonelaje laminado de acero.

La FIGURA 23 muestra cilindros de fundición nodular acicular utilizados en cajas acabadoras. Como elementos de aleación se emplean níquel y molibdeno. En el caso de cilindros muy masivos el material se mejora con una pequeña cantidad de cromo, que es mayor en caso de cilindros de temple difuso o compuestos.

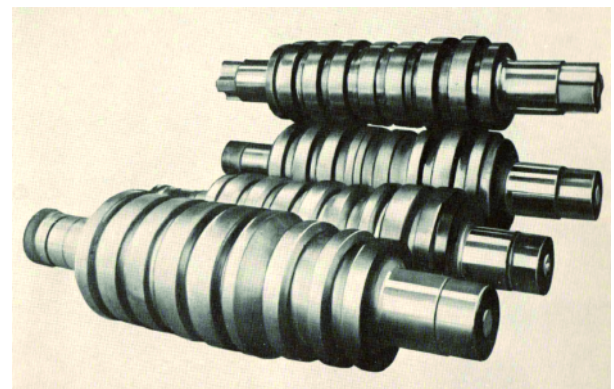


FIGURA 23. Cilindros de fundición nodular acicular.

Otro caso son los cilindros para fabricación de tubos laminados "sin costura" (FIGURA 24). Pesan más de 1.700 kg, su longitud es de 1.600 mm, con 710 mm de diámetro en la zona de trabajo. Se fabrican con una composición de 3,5 % C, 3,8% Ni y 1% Mo. Empleados en cajas acabadoras de trenes Pilger para fabricación de tubos Mannesmann sin soldadura, están sometidos a muy altas tensiones dinámicas. La elevada resistencia de la fundición nodular acicular a las tensiones dinámicas, así como su buena resistencia al desgaste, llevaron a elegir este material. De las diversas fundiciones sólo ésta de matriz acicular combina ambas propiedades.

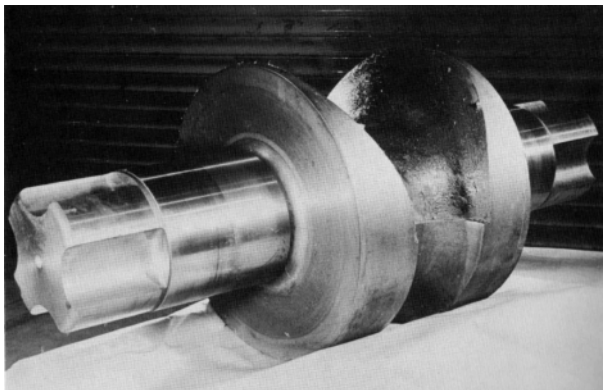


FIGURA 24. Cilindros Pilger para tubos sin costura.

Los cilindros Pilger de fundición nodular acicular presentan una resistencia al desgaste considerablemente mayor que los fabricados en acero. Por ello se adoptan cuando la calidad superficial exigida a los tubos fabricados en estos trenes debe superar niveles muy estrictos.

En la FIGURA 25 se ven cilindros de fundición laminar acicular utilizados en laminación para guardarraíles y cerramientos. Estas piezas tienen 2.500 mm de largo y 1.000 mm de diámetro, con un peso que supera los 11.000 kg. Su composición nominal es también 3,5% C, 3,8% Ni y 1% Mo. La parte de la tabla se cuela contra enfriador. Estas piezas de fundición nodular con matriz acicular presentan mayor resistencia al desgaste que el acero y mejor

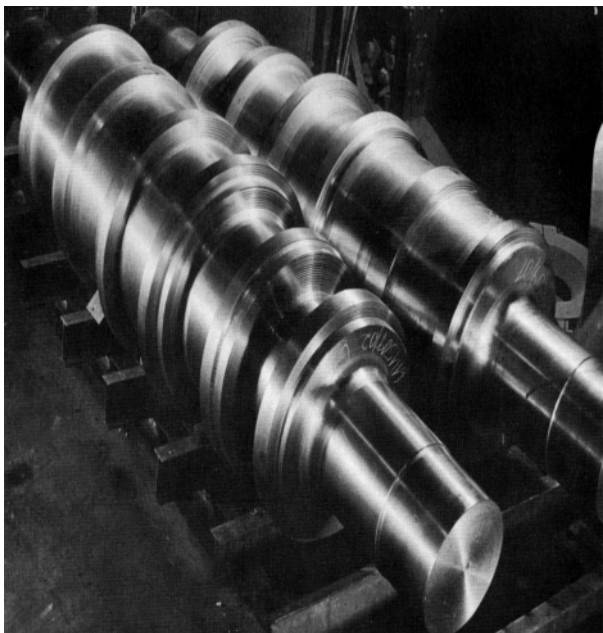


FIGURA 25. Cilindros para fabricación de guardarraíles.

resistencia a rotura frente a tensiones dinámicas, que los mismos cilindros con matriz perlítica.

6.2. PIEZAS CON TRATAMIENTO TÉRMICO ADICIONAL

Otro tipo de fundiciones son aquéllas cuya matriz acicular se consigue por tratamiento térmico posterior a la colada. Dos casos típicos se presentan a continuación:

El primero es el de cilindros de perfiles (FIGURA 26) para trenes acabadores de barras. Son de fundición nodular tratada para obtener estructura bainítica acicular. Cada uno pesa 1.400 kg, con 2.000 mm de longitud total y 400 mm de diámetro. La composición más frecuente es:

Carbono	Silicio	Manganeso	Azufre	Fósforo
3,20 – 3,50	1,20 – 1,50	0,50 – 0,80	Trazas	0,10
Magnesio	Cromo	Níquel	Molibdeno	
0,07 – 0,10	0,30 – 0,50	3,20 – 3,50	0,80 – 1,00	

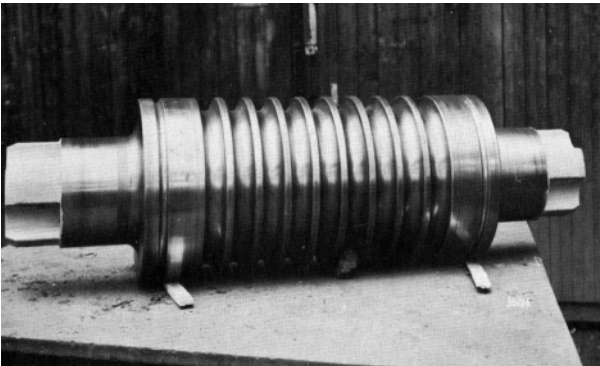


FIGURA 26. Cilindro para caja acabadora de redondos.

El magnesio que figura en la composición anterior no se ha introducido como aleante, sino que es el residual que no desaparece por oxidación en el tratamiento esferoidizador con magnesio puro o con aleaciones Ni - Mg o Fe - Si - Mg. En piezas de tamaño pequeño o medio, este contenido de magnesio residual es del orden de un 0,040%, pero en cilindros su menor velocidad de enfriamiento da lugar a que las pérdidas de magnesio por oxidación sean mayores, lo que reduce el contenido final de este elemento en la pieza colada.

Se ha alcanzado una mejora considerable de rendimiento cuando se sustituyen los cilindros originales

de fundición gris de dureza media por los de hierro nodular tratados térmicamente. Las características de desgaste de los cilindros de fundición nodular con matriz acicular, representan una mejora adicional cuando se comparan con los de fundición perlítica. No obstante, para obtener máximo servicio es necesario realizar un enfriamiento adecuado de estas piezas, ya que el material acicular es más sensible a las tensiones térmicas que el perlítico.

En la FIGURA 27 se ven unos rulos de transportador destinados a la mesa alimentadora y de salida de una gran caja de laminación. Son rodillos huecos de fundición dúctil fabricados por colada centrífuga. Cada uno tiene 2.100 mm de longitud, 300 mm de diámetro exterior y 500 kg de peso. Los rulos, que contienen 1,2% Ni y 1,0% Mo, se han calentado hasta unos 880 °C con enfriamiento al aire. La sinergia de composición y tratamiento térmico desarrolla una estructura acicular con una excelente combinación de dureza y resistencia. Aunque bastante duros (350 BHN), son mecanizables.

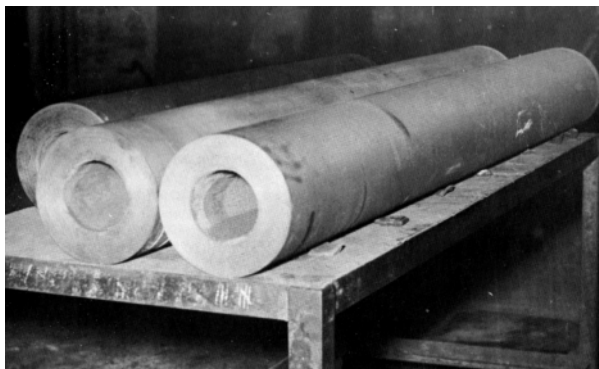


FIGURA 27. Rodillos para mesa transportadora de laminador.

6.3. OTRAS COMPOSICIONES PARA CILINDROS

A continuación se dan algunos ejemplos o casos prácticos de composiciones para cilindros de hierro fundido:

- 1) Cajas desbastadoras-preparadoras de trenes de barras, para reducir las secciones desde 4.000 mm² hasta 400 mm². Fundición nodular:

Carbono	Silicio	Manganeso
3,10	1,90	0,40
Níquel	Molibdeno	Dureza Shore C
1,80	0,35	55 - 60

- 2) Cajas intermedias, e incluso acabadoras, para redondos de diámetro igual o superior a 16 mm. Fundición nodular:

Carbono	Silicio	Manganeso	Azufre	Fósforo
3,15	1,90	0,45	< 0,015	< 0,050
Cromo	Níquel	Molibdeno	Dureza Shore C	
0,65	2,70	0,40	65 - 70	

- 3) Cajas acabadoras para redondos de diámetros inferiores a 16 mm, aún con estrías. Los cilindros sufren temple definido superficial, con profundidades aproximadas de 25 mm. Fundición gris laminar:

Carbono	Silicio	Manganeso	Azufre
3,65	0,70	0,20	< 0,13
Fósforo	Cromo	Níquel	Molibdeno
< 0,38	0,70	1,10	0,20

7. RODILLOS EN MOLDE METÁLICO POR GRAVEDAD

Entre las numerosas ventajas del molde permanente está su gran productividad y menor porcentaje de rechazos. Las piezas mejoran su resistencia mecánica y acabado superficial. Esta última circunstancia permite disminuir las creces de mecanizado.

Mientras un molde de arena u otro mixto arena-coquilla sirven para una sola utilización, el molde metálico permanente puede utilizarse para hacer varios cientos de miles de piezas en aleaciones ligeras de bajo punto de fusión, 1.500 a 5.000 de fundición gris o 600 a 700 pequeñas piezas de acero.

Los moldes permanentes suelen estar constituidos por varias piezas ensambladas con un enclavamiento, que impide que se abran accidentalmente durante la colada. Pueden ser de hierro fundido o de acero. La vida del molde se alarga recubriendo con pintura refractaria la superficie de la cavidad de fusión. La pintura se aplica mediante spray, "moña" o brocha. Para facilitar la adherencia de la pintura sobre la superficie de la cavidad de colada del molde, esta superficie se ha de calentar previamente a unos 200 - 250 °C.

Presenta algunas ventajas de la centrifugación, sin grandes gastos en maquinaria y utillaje.

Salvo casos aislados, los moldes para colada de cilindros de laminación no suelen ser totalmente metálicos. La solución normal es, como se vió anteriormente, que el molde sea de arena en los extremos (trefles) y metálico en la parte central o de trabajo (tabla).

En algunas piezas compuestas, especialmente rodillos para molinos, se hace la parte central axial en acero resistente pero maquinable. Concéntrica con ella, y en molde metálico, se cuela el material resistente al desgaste que va a realizar el trabajo de laminación. La contracción de enfriamiento de este material colado hace que se adhiera fuertemente al eje de acero tenaz. El agarre es aún más seguro si este eje está moleteado o con chaveteros, en los cuales se incrusta el metal líquido durante la colada.

En algunos casos se fabrican moldes de grafito a partir de bloques de este material, obtenidos a elevadas temperaturas y presiones (proceso Acheson y variantes). Una fuente relativamente barata para aprovisionarse de este grafito para moldes o machos, la constituyen los trozos de electrodos rotos de grandes hornos eléctricos de arco. Bajo condiciones favorables de colada, los moldes de grafito pueden usarse muchas veces antes de necesitar ser sustituidos.

La facilidad con que el grafito puede ser mecanizado y la relativamente elevada resistencia del molde, constituyen factores económicos favorables. La velocidad de enfriamiento en moldes de grafito se encuentra a medio camino entre la de los moldes de arena y los metálicos.

La piel de los moldes de grafito resiste a la mojadura por la mayoría de los metales, por lo que son más duraderos. Este tipo de moldes no es muy aplicable a la colada de aleaciones férricas insaturadas, como aceros de muy bajo carbono, que reaccionan con el grafito disolviendo carbono y aumentando las tasas de este elemento hasta valores indeseados.

8. BIBLIOGRAFÍA DE MATERIALES PARA RODILLOS

"Temple Superficial al Soplete Oxiacetilénico", Marcel Vilez, Dunod, Paris, 1961.

"Temple Superficial a Soplete", Marcel Vilez, Editions Cedel, 1966.

"Temple Superficial de Piezas Moldeadas por Inducción y a la Llama", Fonderie, no. 130, 1956, pág. 468.

"Práctica del Calentamiento por Inducción", Warburton-

Brown, Fonderie, no. 203, 1963, págs. 35 - 36.

"Atlas Métallographique de Microstructures Types: Fontes et Aciers" C.T.I.F., Fonderie, no. 191, 1962, pág. 15.

"Fundiciones de Grafito Laminar No Aleadas", Fonderie, no. 188, 1961.

"Instalación de Moldeo con Arena al Cemento en una Fundación Finlandesa", Fonderie, 304, Agosto-Septiembre 1971, pág. 304.

Firma de Pirometría Leeds & Northrup, Philadelphia, Estados Unidos.

ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Case 1303, "Use of Acicular Iron for Unfired Pressure Vessels", Mechanical Engineering, 83 (1961), núm. 11, págs. 107-108.

"Physical and Engineering Properties of Cast Iron", H.T. Angus 1960, The British Cast Iron Research Association.

"Nodular Cast Iron" S.B. Bailey Foundry Trade Journal, 96 (1954), págs. 577 - 584, 607 - 616, 645 - 648.

"Special Nodular Cast Iron" R. Barton, BCIRA Journal, 8 (1960), págs. 857 - 882.

British Standard 1452 - 1961, "Specification for Grey Iron Castings", British Standards Institution (1961).

"Experimental Load-Stress Factors. Engineering Approach to Surface Damage", W.D. Cram.

The Industry Program of the College of Engineering, (1958), págs. 55 - 109, University of Michigan.

"Isothermal Heat Treatment of Nodular Iron", T.G. Demidova y M.N. Kunyavskiy, Liteynoye Proizvodstvo, (1955), núm 2, págs. 20 - 22.

"Study of the Isothermal Transformation of Copper-Chromium and Nickel-Chromium Cast Irons Containing about 0,5 % Molybdenum", A. de Sy y J. van de Eeghem.

Paper núm 115, 28 International Foundry Congress, Düsseldorf, Germany, Fonderie Belge (1957), núm. 5, págs. 92 - 105.

"Cast-iron Crankshafts, with Special Reference to Acicular and Spheroidal-Graphite Cast Irons", A.B. Everest, Foundry Trade Journal, 91 (1951), págs. 643 - 651.

"New Types of Cast Irons for Rolls, Their Properties and Possible Uses", H. Göbel, Stahl und Eisen 77 (1957), págs. 143 - 157.

"High-Strength Cast Irons", Climax Molybdenum Company.

"Spheroidal Graphite Cast Iron", The International Nickel Company (Mond) Limited, (1960).

"SG Iron - Properties and Applications", The International Nickel Company (Mond) Limited, (1961).

"Bainitic Cast Iron", O. Nickel, Nickel - Berichte 19 (1961) págs. 47 - 52 y 78 - 83.

"Comprehensive Mechanical Tests of an Acicular Cast Iron", K.B. Palmer, Journal of Research and Development 5 (1953), págs. 109 - 117, The British Cast Iron Research Association.

"A Contribution to the Knowledge of Wear Resistance of Bainitic-Hardened Cast Iron", R.G. Walzel y H. Örtner, Wear 1 (1957), págs. 183 - 195.

"Hot Rolling of Steel", William L. Roberts, Marcel Dekker Inc., New York and Basel, Págs. 527 - 536.

"Roll Wear Study", R.L. Whiteley - Research, Roll Design Committee Meeting, January 22 - 23, 1969, Págs. 1 - 11.

"A Study of the Conflict Between Wear and Toughness in Steel Rolls Materials for Hot Working Applications", Raymond M. Hemphill, Steel Foundry, Bethlehem Steel Corporation, Bethlehem, Pennsylvania, December 1, 1969, Págs. 1 - 24.